

Betriebskonzept für den NGT CARGO auf der Europa-Referenzstrecke Madrid – Bukarest

Operational concept for the NGT CARGO on the European reference route Madrid – Bukarest

Michael Mönsters | Leander Flamm

Mit dem NGT CARGO untersucht das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), wie eine mögliche Zukunft des Schienengüterverkehrs mit Geschwindigkeiten bis 400 km/h aussehen könnte. Damit die notwendigen Investitionen in die Hochleistungstriebzüge gerechtfertigt sein können, muss auch die Infrastruktur für solche Geschwindigkeiten ausgelegt sein. In dieser Studie wurden aufbauend auf einer Referenzstrecke eine Streckenführung zwischen Spanien und Rumänien identifiziert und auf ihr in einer mikroskopischen Betriebssimulation Fahrzeiten und Energieverbräuche ermittelt. Abschließend wurde das Betriebsszenario bewertet.

1 Das NGT CARGO-Konzept

Seit 2007 arbeitet das DLR an einem Konzept für einen Hochgeschwindigkeitszug (Next Generation Train – NGT). Das Augenmerk lag dabei zunächst auf der Konstruktion eines doppelstöckigen Hochgeschwindigkeitszugs für den Personenfernverkehr (NGT High Speed Train – HST). Darauf aufbauend wurde ein Zubringerzug entwickelt (NGT LINK), der mit geringeren Geschwindigkeiten verkehrt. Für den Schienengüterverkehr wird seit 2014 der NGT CARGO entwickelt (Bild 1). Dieses Konzept will die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs gegenüber dem Straßen- und Luftverkehr erhöhen, indem die Transportgeschwindigkeit deutlich gesteigert wird. Dabei setzt das Konzept auf einen hohen Automatisierungsgrad, große Flexibilität und eine intelligente Abfertigung. Der NGT CARGO ist darauf ausgerichtet, die Schiene besonders für hochwertige, eilbedürftige und kleinteilige Güter wieder attraktiv zu machen [1, 2].

Bild 1: NGT CARGO als Triebzug

Fig. 1: NGT CARGO as a multiple unit

Quelle / Source: DLR



With the NGT CARGO, the German Aerospace Center (DLR) is researching on one possible future of rail freight transport with high speeds up to 400 km/h. For the needed investments in high performance rolling stock to be justified, the infrastructure has to be designed for these speeds, too. In this study a possible route between Spain and Romania was identified based on a previously defined reference route. By means of a microscopic simulation, journey times, energy consumption and necessary vehicle numbers were calculated. With these KPI in mind, the scenario was evaluated and conclusions drawn for future works.

1 The concept of NGT CARGO

Since 2007, DLR has been working on a concept for high-speed trains of the next generation (Next Generation Train – NGT). Initially, a high-speed passenger double-deck train (NGT High Speed train – HST) was designed and technically evaluated, followed by a regional feeder train for lower speeds (NGT LINK). For freight transport, the NGT CARGO (fig. 1) has been developed from 2014 on as a concept to increase the competitiveness of rail freight transport over road and air transport. To achieve this, the design speed was set to 400 km/h and the train was prepared for a high grade of automation. With its high flexibility, intelligent services and logistics in transshipment stations, the NGT CARGO concept is focused on providing an attractive offer for valuable, urgent and small goods [1, 2].

The NGT CARGO is conceptualised as an electrical multiple unit with two power cars and self-propelled freight wagons. Powered by a battery, the NGT CARGO freight wagons can run on their

Das Zugkonzept des NGT CARGO sieht einen Triebzug vor, bestehend aus zwei Triebköpfen sowie einzeln angetriebenen Güterwagen. Der Antrieb der NGT CARGO-Einzelwagen wird von einer Batterie gespeist. Somit können die Wagen selbstständig die letzte Meile bewältigen, z.B. in Anschlussgleisen, Hafenbahnen, Güterumschlagsanlagen sowie Terminals. Rangierpersonal, Rangierlokomotiven oder Oberleitungsanlagen sind nicht mehr notwendig. Die Wagen können automatisiert be- und entladen werden und sind für Unit Load Devices (ULD, Luftfracht-container) ausgelegt. Für den Hauptlauf wird der NGT CARGO zu einem Triebzug zusammengefügt. Dazu koppelt sich die Einzelwagengruppe mit ein bis zwei NGT CARGO-Triebköpfen automatisch zusammen. Die Triebköpfe stellen die zusätzliche Traktionsleistung für den Hochgeschwindigkeitsbetrieb mit bis zu 400 km/h zur Verfügung.

In einer auf Europa fokussierten Güterstrukturanalyse wurden geeignete Gutgruppen für einen NGT CARGO-Betrieb definiert und anschließend eine Referenzstrecke abgeleitet [3]. Die Referenzstrecke des NGT CARGO verläuft von Madrid über Barcelona, Lyon, Freiburg, München, Wien und Budapest bis nach Bukarest in Rumänien. Für ein mögliches Betriebskonzept werden zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet: In einem ersten Referenz-Szenario soll die Nutzung des künftigen Schnellfahrstrecken (SFS)-Netzes in Europa erfolgen. Dabei wird der Ausbauzustand des Netzes für 2030 unterstellt [4]. In einem weiteren SFS-Szenario soll der NGT CARGO eine neu zu errichtende NGT-SFS befahren. Ziel des SFS-Szenarios ist es, die Potenziale einer durchgängigen Hochgeschwindigkeitsfahrt mit 400 km/h für den NGT CARGO zu ermitteln. Dieser Beitrag beschäftigt sich insbesondere mit dem SFS-Szenario und den betrieblichen und wirtschaftlichen Auswirkungen einer durchgängigen Hochgeschwindigkeitstrasse für den Güterverkehr.

2 SFS-Szenario

Im Referenz-Szenario ist der NGT CARGO auf dem Abschnitt von Nîmes nach Linz mit einer Höchstgeschwindigkeit von 320 km/h drei Stunden schneller als ein 160 km/h-Güterzug. Im SFS-Szenario ist dagegen vorgesehen, dass der NGT CARGO eine eigene SFS befährt. Eine Nutzung vorhandener SFS wie in Spanien, Frankreich und Deutschland erfolgt bewusst nicht, um das vollständige Geschwindigkeitspotenzial des NGT CARGO zu nutzen. Die entsprechenden Hochgeschwindigkeitsstrecken weisen in der Regel eine geringere Höchstgeschwindigkeit von maximal 320 km/h auf. Das SFS-Szenario sieht den Neubau einer NGT CARGO-SFS zwischen Madrid und Bukarest mit einer durchgehenden Streckenhöchstgeschwindigkeit von 400 km/h vor.

2.1 Streckenverlauf

Eine Schnellfahrstrecke für 400 km/h stellt höchste Ansprüche an die Trassierung und muss so gestaltet werden, dass die Schallemissionen einer solchen Hochgeschwindigkeitsfahrt möglichst geringe Beeinträchtigungen für die Umwelt mit sich bringen. Zudem sollte eine möglichst direkte Linienführung gefunden werden, um unnötige Umwege zu vermeiden, die die Effekte einer höheren Maximalgeschwindigkeit konterkarieren würden. Bei der Trassenfindung galten folgende Randbedingungen:

- Möglichst gestreckte Trassierung, d.h. große Radien für eine möglichst durchgängige Trassierung für 400 km/h
- luftliniennahe Führung, soweit mit akzeptablem baulichen Aufwand machbar
- maximale Steigung 25 ‰
- Verkehrswegebündelung mit bestehenden Strecken oder Autobahnen.

own on the last mile, e.g. in sidings, ports, transshipment facilities or terminals. No shunting staff, extra locomotives or catenary is necessary. The wagons can be loaded and unloaded automatically and are designed to fit Unit Load Devices (ULD) as known from freight aviation. For the main leg with high speed, the NGT CARGO is coupled together with the two power cars providing the necessary traction power for speeds up to 400 km/h.

In a structural analysis of the flows of goods in Europe, suitable groups of goods to be transported by a NGT CARGO system were identified. On the basis of these flows of goods, a promising reference route was defined in [3]. This reference route runs from Madrid via Barcelona, Lyon, Freiburg, Munich, Vienna and Budapest to Bucharest in Romania. Two operational concepts were examined: First, in the Reference Scenario the conventional high-speed network in Europe was simulated including existing high-speed lines and those expected to be completed until the year 2030 [4]. In a second High-Speed Scenario, a consistent speed of 400 km/h is assumed on the whole NGT CARGO route with the goal of identifying potentials and operational as well as economic effects of high-speed rail freight transport.

2 High-Speed Scenario

In the Reference Scenario, the NGT CARGO saves three hours between Nîmes and Linz running at up to 320 km/h compared to a freight train with at most 160 km/h. For the High-Speed Scenario on the other hand, a dedicated high speed line for the NGT CARGO is mandatory. As the NGT CARGO can technically run with up to 400 km/h and because the potential of such high speeds should be investigated, even existing high-speed routes in Spain, France and Germany for 320 km/h or less could not be used. Instead, a new route for a consistent speed of 400 km/h between Madrid and Bucharest was defined and evaluated.

2.1 Course of the route

A high-speed route for 400 km/h demands highest standards on the routing and needs to be designed in a way that has minimal disturbances to the surrounding environment including noise emissions in populated areas. Further, an as direct as possible route should be searched to prevent unnecessary deviations thwarting the effects of a high maximum speed.

For the routing search, the following constraints were defined:

- Large radii for a consistent design speed of 400 km/h wherever possible
- Routing as the crow flies as far as practicable with reasonable construction effort
- Maximum gradient of 25 ‰
- Bundling with existing railway lines or motorways.

In the High-Speed Scenario, the NGT CARGO trains exclusively stop in the large NGT transshipment stations called hubs. In those hubs, the NGT CARGO trains can be separated in power cars and single wagons which also can be loaded and unloaded. Smaller NGT CARGO units are then connecting the hubs with smaller terminals and sidings. Sidings and terminals are located in the existing railway network. In the following figures, hub locations are marked in yellow, with fig. 2 showing an overview of the complete route.

The general course is predefined by the hubs from the Reference Scenario. Still, multiple improvements in routing could be realised in the areas around Barcelona, Dijon, Mulhouse, Karlsruhe, Rosenheim / Mühldorf and Timișoara.

Bild 2: Übersicht über den Streckenverlauf des SFS-Szenarios

Fig. 2: Overview of the track layout of the High-Speed Scenario

Quelle / Source: Kartendaten © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM; Kartendarstellung © OpenTopoMap (CC-BY-SA); bearbeitet)



Die NGT CARGO-Fahrten im SFS-Szenario halten ausschließlich in den größten NGT-Umschlagbahnhöfen, den sogenannten Hubs. In Hubs können die aus Triebköpfen und Einzelwagen bestehenden NGT CARGO-Züge getrennt und aufgelöst werden. Außerdem ist das Be- und Entladen der Einzelwagen möglich. Kleinere NGT CARGO-Einheiten verknüpfen die Hubs mit Terminals zum Be- und Entladen der Einzelwagen sowie mit Sidings (Ladestellen in Gleisanschlüssen). Sidings und Terminals finden sich im nachgelagerten Schienennetz. In den folgenden Bildern sind mögliche neue Hub-Standorte gelb markiert. Bild 2 zeigt eine Übersicht der gesamten Strecke.

Der grobe Verlauf ist durch die Lage der Hubs aus dem Referenz-Szenario vorgegeben, wobei einige Linienverbesserungen in den Bereichen Barcelona, Dijon, Mulhouse, Karlsruhe, Rosenheim bzw. Mühldorf sowie Timișoara vorgenommen wurden.

Bild 3 zeigt einen Detailausschnitt der makroskopischen Trassenplanung, bei der Gradienten, Radien und Tunnelstrecken erhoben wurden. In Bild 4 wird das Höhenprofil der Strecke dargestellt. Zu sehen ist das Höhenprofil vom spanischen Hochplateau (links) zur Mittelmeerküste (km 800), über die schwäbische Alb (km 1700) bis in das rumänische Flachland (rechts).

Fig. 3 shows a detailed view of the macroscopic path planning which was used to gather data on gradients, radii and needed tunnels.

In fig. 4, the elevation profile of the route is shown. The outer left shows the Spanish high plateau, with the route then falling down to the Mediterranean coast (km 800), rising over the Swabian Alps (km 1700) and ending in the Romanian lowlands on the right.

The main route parameters of the High-Speed Scenario are given in tab. 1.

2.1.1 Hub Munich

Similar to the Reference Scenario, the NGT CARGO uses the corridor of the existing freight train bypass in the north of Munich (fig. 5). In Munich-Freimann a separate NGT CARGO hub is envisaged. At this location a good connection to the numerous railway lines and the surrounding region exists.

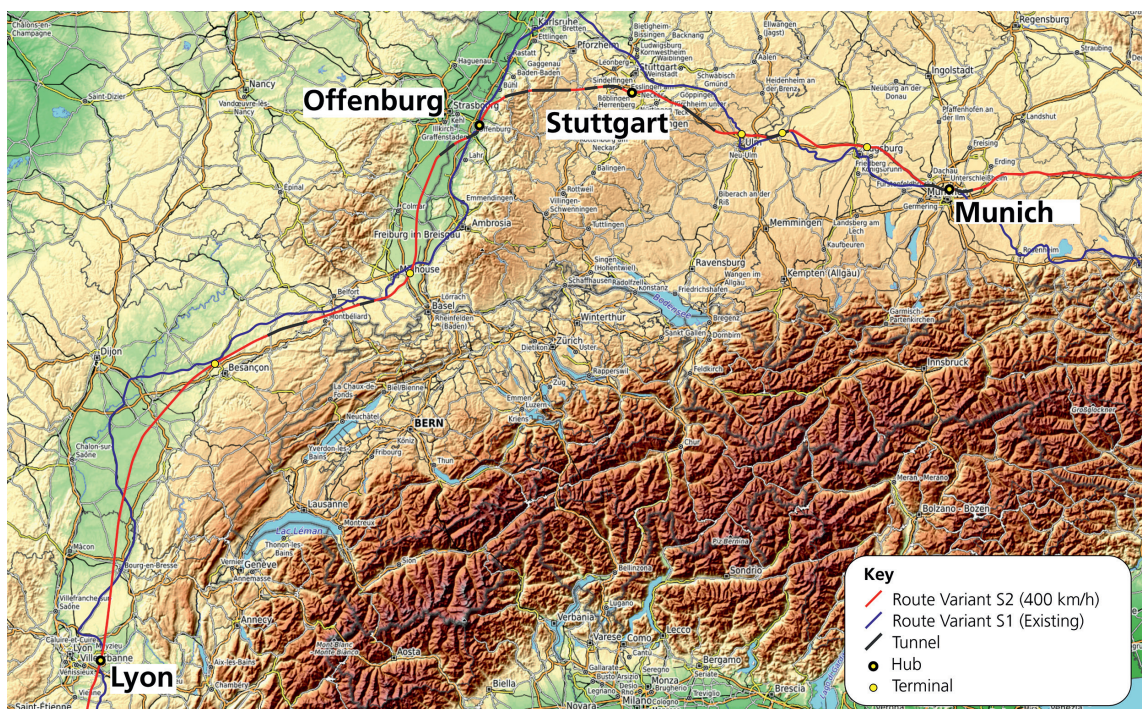
2.1.2 Hub Budapest

Finding a suitable hub location around Budapest proved to be difficult. The city has to be tunnelled to a great extent due to its dense development. The section is shown in Fig. 6 with the tun-

Bild 3: Streckenführung in Ostfrankreich und Süddeutschland

Fig. 3: Routing in Eastern France and Southern Germany

Quelle / Source: Kartendaten © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM; Kartendarstellung © OpenTopoMap (CC-BY-SA); bearbeitet)



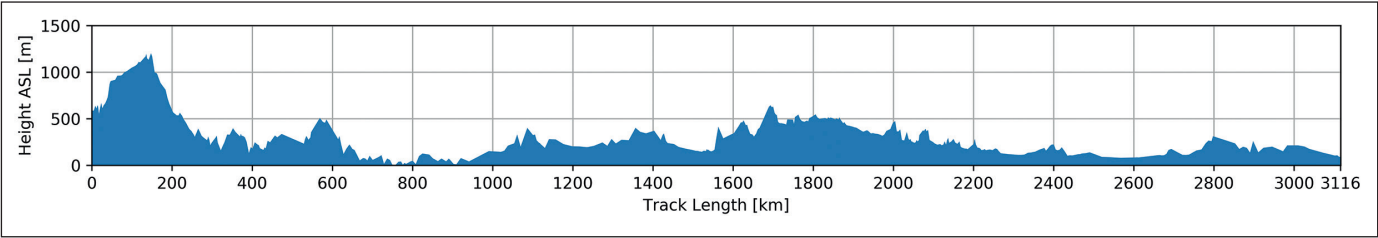


Bild 4: Höhenprofil der Trassierung der Strecke für das SFS-Szenario
Fig. 4: Elevation profile of the track profile for the High-Speed Scenario

Gesamtlänge	3116 km
Anzahl Stationen	24
Höchstgeschwindigkeit	400 km/h
Nonstop-Fahrzeit	07:55 h
Minimaler Radius	3685 m (Nähe Hub Madrid) 4987 m (Nähe Hub Offenburg)
Niedrigster Punkt	14 m NHN
Höchster Punkt	1179 m NHN
Neigungsbilanz (Richtung Osten)	3895 m aufwärts 4393 m abwärts

Tab. 1: Übersicht über die Streckenparameter des SFS-Szenarios

Total distance	3116 km
Stations	24
Maximum speed	400 km/h
Journey time (Non-stop)	07:55 h
Minimum radius	3685 m (near hub Madrid) 4987 m (near hub Offenburg)
Lowest point	14 m ASL
Highest point	1179 m ASL
Altitude change (Direction east)	3895 m up 4393 m down

Tab. 1: Overview over the track parameters in the High-Speed Scenario

Die wichtigsten Streckendaten des SFS-Szenarios sind in Tab. 1 aufgelistet.

2.1.1 Hub München

Wie auch im Referenz-Szenario benutzt der NGT CARGO in München den Korridor der Güterumgehungsbahn im Norden der Stadt (Bild 5). Im Bereich München-Freimann wird ein separater NGT CARGO-Hub vorgesehen. Dort ist auch eine Anbindung an die zahlreichen Bahnstrecken und das Münchener Umland gegeben.

2.1.2 Hub Budapest

Im Bereich Budapest gestaltet sich die Festlegung des neuen Hub-Standorts als anspruchsvoll, da das Stadtgebiet mittels Tun-

nelled parts in black. In the area west of the city centre, a hub location next to the existing motorway and connecting to the railway line Győr – Tatabánya is favoured.

2.2 Operational concept

In the following the operational concept for the High-Speed Scenario is presented. Thereby the focus especially lays on adjustments to the timetable, which allows more flexibility on an independent infrastructure. Furthermore, the timetable draft is examined by an operational simulation. Finally, with the help of the simulation results, it is possible to make statements on key figures of the operational concept.

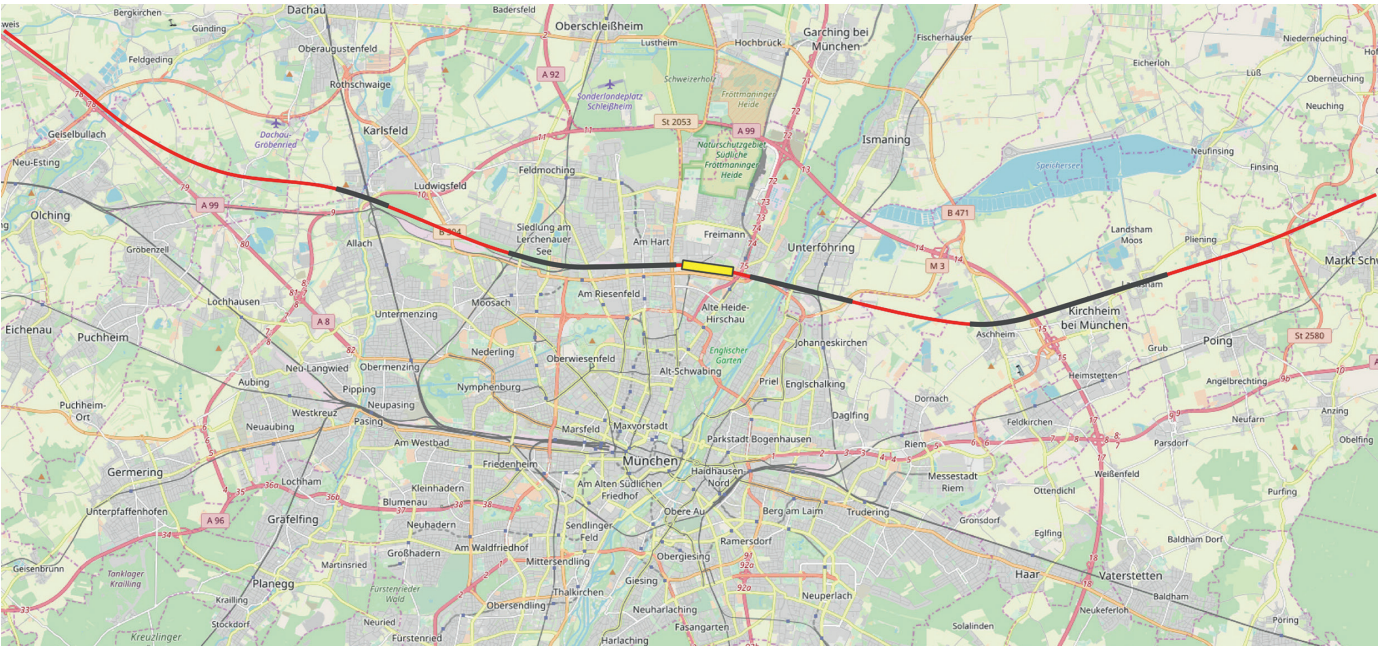


Bild 5: Lage des NGT CARGO-Hubs in München, SFS-Szenario
Fig. 5: Location of the NGT CARGO hub in Munich, High-Speed Scenario

Quelle / Source: OpenStreetMap, © OpenStreetMap-Mitwirkende, (bearbeitet)

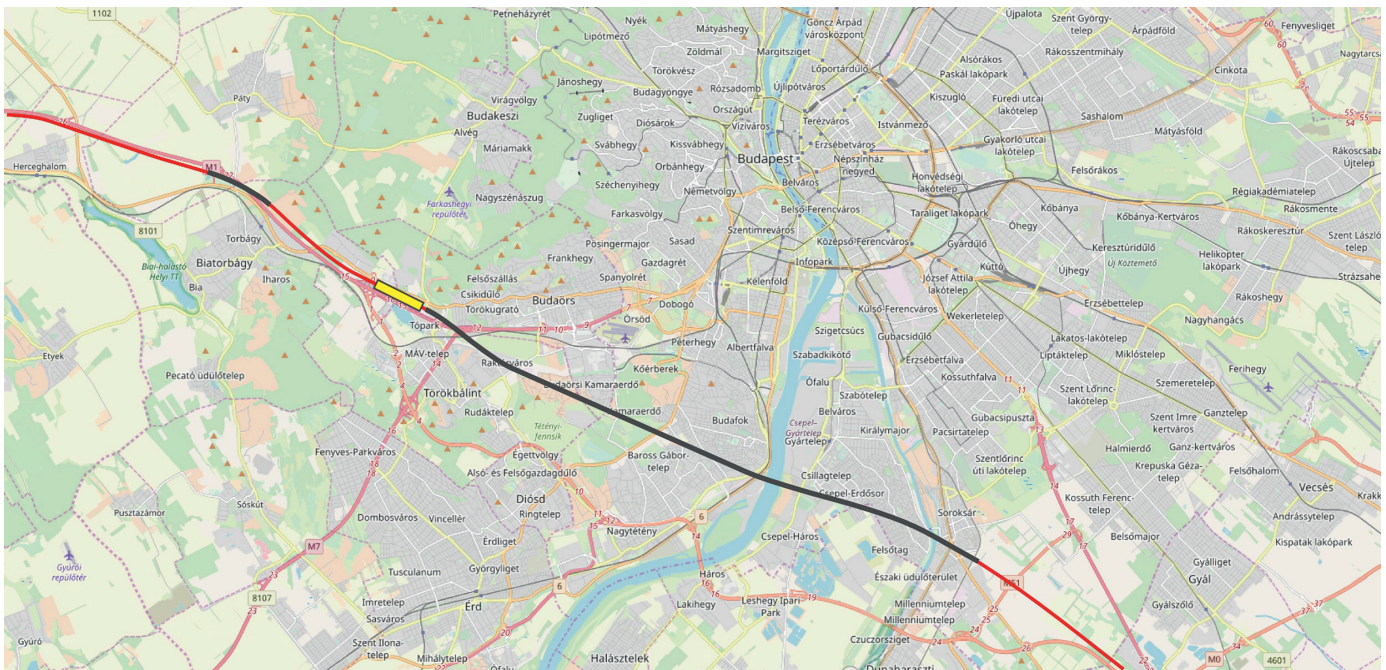


Bild 6: Lage des NGT CARGO-Hubs in Budapest, SFS-Szenario

Fig. 6: Location of the NGT CARGO hub in Budapest, High-Speed Scenario

Quelle / Source: OpenStreetMap, © OpenStreetMap-Mitwirkende (bearbeitet)

nel weiträumig unterfahren werden muss. Dieser Bereich ist in Bild 6 durch eine schwarze Linie dargestellt. Im Areal westlich des Stadtzentrums wird ein Hub-Standort an einer vorhandenen Autobahn und der Bahnstrecke Győr – Tatabánya favorisiert.

2.2 Betriebskonzept

In diesem Kapitel wird das Betriebskonzept für das SFS-Szenario vorgestellt. Dabei liegt der Fokus insbesondere auf den Anpassungen an den Fahrplan, welcher bei einer eigenständigen Infrastruktur mehr Freiheiten zulässt. Des Weiteren wird der Fahrplangentwurf im Rahmen einer Betriebssimulation geprüft. Abschließend sind anhand der Simulationsergebnisse Aussagen zu Kennwerten des Betriebskonzepts möglich.

2.2.1 Fahrzeiten

Durch die Trassierung einer SFS kann ein signifikanter Geschwindigkeitsvorteil erzeugt werden (Tab. 2). Exemplarisch wird hier die Kernstrecke von Nîmes nach Linz genauer betrachtet. Der Stre-

2.2.1 Journey times

The track layout of the high-speed line leads to a higher maximum speed limit. As a result, the average transport speed increases (tab. 2). As an example the core section of the high-speed line between Nîmes and Linz will be considered in detail. The journey time for this core section is 7.6 h. This time window already contains the one-hour stops at the hubs Lyon, Offenburg, Stuttgart and Munich. The pure journey time without hub stops would be 3.6 h. It becomes apparent, that the track length of the high-speed line is shorter compared to the reference route. The direct track layout of the high-speed line leads to a lower detour factor. It is possible to reach an average speed of 152.4 km/h. The high-speed line offers a significant journey time advantage over the reference route.

Fig. 7 shows the NGT CARGO's average speed between two hubs over the whole distance from Madrid to Bucharest. The values of the reference scenario (S1) are marked in blue and those from the high-speed line scenario in red (S2). A significant increase in speeds can be observed. The largest time savings are achieved east of Stuttgart, where the reference route only allows low speeds.

Tab. 2: Fahrzeiten auf der Kernstrecke Nîmes – Linz; Szenarien Referenzstrecke und SFS im Vergleich

Ort/Hub	Laufweg-km Referenzstrecke (in Klammern: SFS)	SFS mit NGT CARGO	Referenzstrecke mit NGT CARGO	Referenzstrecke mit konventionellem Güterzug mit 160 km/h
Nîmes	0 (0)	00:00	00:00	00:00
Lyon	235 (228)	00:40	01:10	02:05
Offenburg	739 (645)	02:50	05:07	06:55
Stuttgart	907 (748)	04:15	07:07	09:35
München	1133 (945)	05:55	09:45	12:35
Linz	1414 (1155)	07:35	13:30	16:40
Fahrzeit (h)		7,6	13,5	16,7
Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)		152,4	105,2	85,0

Location/hub	Route-km Reference Scenario (in brackets: high-speed line)	High-Speed Scenario with NGT CARGO	Reference Scenario with NGT CARGO	Reference Scenario with conventional freight train, 160 km/h
Nîmes	0 (0)	00:00	00:00	00:00
Lyon	235 (228)	00:40	01:10	02:05
Offenburg	739 (645)	02:50	05:07	06:55
Stuttgart	907 (748)	04:15	07:07	09:35
München	1133 (945)	05:55	09:45	12:35
Linz	1414 (1155)	07:35	13:30	16:40
Travel time (h)		7.6	13.5	16.7
Average speed (km/h)		152.4	105.2	85.0

Tab. 2: Journey times on the core section Nîmes – Linz, Reference Scenario and High-Speed Scenario in comparison

ckenabschnitt wird in einer Gesamtzeit von 7,6 Stunden befahren, worin bereits die jeweils einstündigen Aufenthalte in den Hubs Lyon, Offenburg, Stuttgart und München enthalten sind. Die reine Fahrzeit ohne die Halte in den entsprechenden Hubs würde 3,6 Stunden betragen. Durch die geplante Trassierung wird eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 152,4 km/h erreicht. Es ist auch ersichtlich, dass die Streckenlänge der neu und aufwendig trassierten Strecke geringer ist als jene der bestehenden Strecken. Durch den so angestrebten geringeren Umwegfaktor kann zusätzlich zur erhöhten Durchschnittsgeschwindigkeit ein Zeitvorteil zur bestehenden Streckenverbindung aus dem Referenz-Szenario erzeugt werden.

Bild 7 zeigt die zwischen zwei Hubs durchschnittlich erreichten Geschwindigkeiten des NGT CARGO auf der Gesamtstrecke von Madrid nach Bukarest. Dargestellt sind die Werte aus dem Referenz-Szenario in blau (S1) und jene aus dem SFS-Szenario in rot (S2). Es ist eine deutliche Erhöhung der erreichten Geschwindigkeiten festzustellen, wobei die größten Zeitgewinne östlich von Stuttgart erzielt werden, wo das bestehende Streckennetz auf weiten Teilen nur geringe Geschwindigkeiten zulässt.

Insbesondere auf kurzen Streckenabschnitten wie Offenburg – Stuttgart oder Wien – Győr kann der NGT CARGO seine Höchstgeschwindigkeit nur kurz ausfahren. Auch starke Stei-

Especially on short track sections like Offenburg – Stuttgart or Wien – Győr the NGT CARGO can only reach its maximum speed for a short time. Moreover, steep inclines lead to a reduction of the actual speed reached. Therefore, on these sections of the high-speed route the maximum speed is only around 250 km/h. On longer distances and flatter stretches of the track the average speed nearly reaches 400 km/h though, e. g. between Madrid and Nîmes or Budapest and Békéscsaba (average speed 368 km/h).

2.2.2 Timetable simulation

Analogous to the simulation of the Reference Scenario, a driving simulation of the high-speed line was carried out. For this purpose the DLR simulation tool DFSimu was used. Taking into account the physical conditions of the line and the train [4], journey times and energy consumption could be determined. Additionally, the timetable concept could be verified.

The key figures, which are shown in tab. 3, refer to the core section Nîmes – Linz. Due to the maximum speed limit of 400 km/h the energy consumption rises sharply (plus 87 %; from 45.3 to 83.1 kWh per km). The increased energy consumption is partially compensated by the shortened routing of the high-speed line. When considering the entire route from Madrid to Bucharest, the energy consumption increases by 43 %.

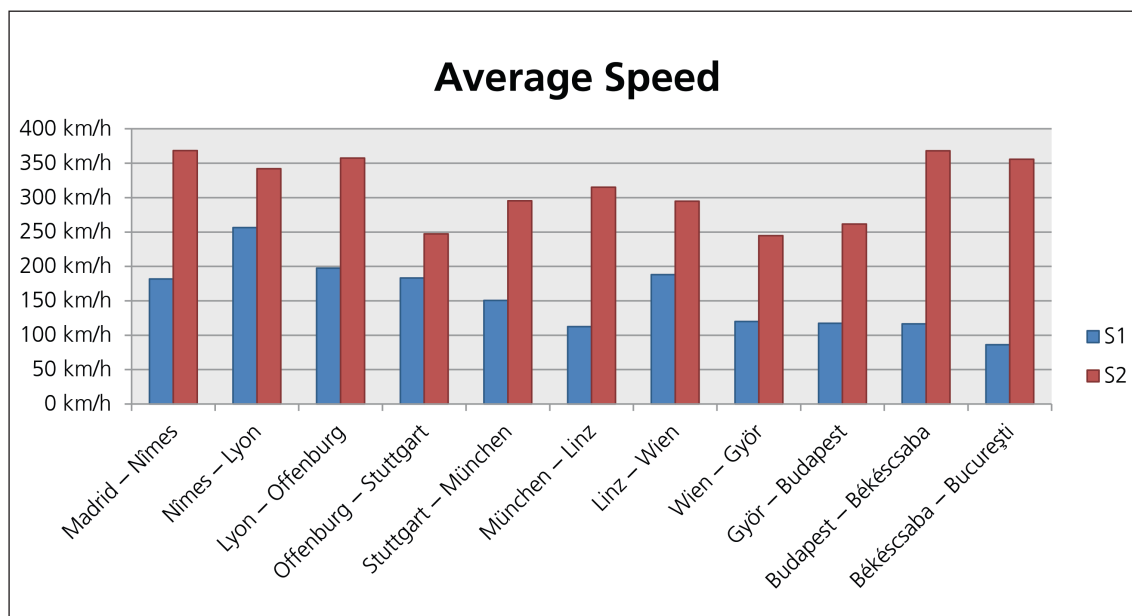


Bild 7: Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den Teilstrecken zwischen zwei Halten, Szenarien Referenzstrecke (S1) und SFS (S2) im Vergleich

Fig. 7: Average speed on the sections between two stops, Reference Scenario (S1) and High-Speed Scenario (S2) in comparison

gungen führen zu einer Reduktion der tatsächlich erreichten Geschwindigkeit. Daher werden dort im Durchschnitt nur Geschwindigkeiten um 250 km/h erreicht. Auf längeren Distanzen und flacheren Streckenabschnitten nähert sich die Durchschnittsgeschwindigkeit aber den 400 km/h an, beispielsweise zwischen Madrid und Nîmes oder Budapest und Békéscsaba, mit jeweils durchschnittlich 368 km/h.

2.2.2 Simulation des Fahrplans

Analog zur Simulation des Referenz-Szenarios wurde eine Fahrsimulation der SFS mithilfe des DLR-Simulationstools DFSimu durchgeführt. Unter Beachtung der physikalischen Gegebenheiten der Strecke und des Zuges [4] konnten so Fahrzeiten und Energieverbräuche ermittelt sowie das Fahrplankonzept überprüft werden.

Die in Tab. 3 dargestellten Kennwerte beziehen sich auf die Kernstrecke Nîmes – Linz. Aufgrund der Höchstgeschwindigkeit von 400 km/h steigt der Energiebedarf stark an. Allerdings wird der um 87 % (von 45,3 auf 83,1 kWh pro km) gesteigerte Verbrauch pro Zug-km zumindest teilweise durch die verkürzte Streckenführung kompensiert. Wird die gesamte Strecke von Madrid nach Bukarest ausgewertet, so werden dementsprechend nur 43 % mehr Energie verbraucht.

3 Bewertung der Szenarien

Das Referenz-Szenario überzeugt mit einer eher kurzen Realisierungsperspektive und geringeren Investitionen gegenüber dem SFS-Szenario. Im SFS-Szenario hingegen kann der NGT CARGO seinen Geschwindigkeitsvorteil vollständig ausnutzen. Die Umsetzung und Finanzierung des Vorhabens wären durch die umfangreichen Um- und Neubaumaßnahmen äußerst ambitioniert. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sich eine Geschwindigkeit von 400 km/h erst bei großen Halteabständen auszahlt, wie sie bspw. auf einem Güterkorridor Richtung China vorhanden wären. Für den europäischen Raum wäre ein mögliches drittes Szenario eine Alternative, welches bestehende SFS nutzt und nur teilweise Neubauten bis 300 km/h vorsieht.

Über weite Teile der Bestandsstrecken im Referenz-Szenario bestehen bereits Hochgeschwindigkeitsstrecken für 300 km/h bzw. ausgebauten Strecken für Geschwindigkeiten um 250 km/h. Auf den verbleibenden Streckenabschnitten mit Geschwindigkeiten unter 250 km/h, insbesondere im Bereich Deutschland und Österreich, ist der NGT CARGO aus Kapazitätsgründen aufgrund einer hohen Auslastung durch andere Zugfahrten auf Ausbauvorhaben angewiesen. Um genügend NGT CARGO-Trassen vorhalten zu können, wäre hier die Ergänzung von Streckengleisen, die Anhebung von Streckengeschwindigkeiten und die Ertüchtigung wichtiger Knotenbahnhöfe zwingend umzusetzen. In Ungarn und Rumänien

	SFS mit NGT CARGO	Referenzstrecke mit NGT CARGO	Referenzstrecke mit konventionellem Zug mit 160 km/h
Fahrzeit Nîmes – Linz (h)	7,6	13,5	16,7
Mittlere Geschwindigkeit (km/h)	152,4	105,2	85,0
Energiebedarf pro Tag (MWh)	646	412	245
Energiebedarf pro Zug-km (kWh/km)	83,1	45,3	26,9

Tab. 3: Betriebliche Kennzahlen für die Kernstrecke Nîmes – Linz in den untersuchten Szenarien

3 Scenario evaluation

On the one hand, the Reference Scenario convinces with a short realization perspective and low investments compared to the high-speed line. On the other hand, in the High-Speed Scenario the NGT CARGO can take full advantage of its speed. The project's implementation and financing would be very ambitious due to extensive reconstruction and new construction of lines. The results have shown that a speed of 400 km/h only pays off with long distances between hub stops as they would be present on a freight corridor to China. For Europe a possible third scenario would be an alternative. In this case existing high-speed lines are used and new lines are only planned for a maximum speed of 300 km/h.

In the Reference Scenario high-speed lines for 300 km/h and upgraded lines for up to 250 km/h already exist for most of the corridor. On the remaining sections of the line with speeds below 250 km/h, especially in Germany and Austria, the NGT CARGO is dependent on expansion projects because of dense traffic on the existing lines. To assure a satisfying number of NGT CARGO train paths, the addition of railway tracks, a speed increase and the upgrade of major railway junctions would have to be implemented. In Hungary and Romania there are significant drops in speed in the Reference Scenario, because the maximum speed of existing lines is 120 km/h, in many cases even lower. It is therefore proposed to implement the NGT CARGO high-speed line (as planned in the High-Speed Scenario) from the Austrian-Hungarian border to Bucharest.

In the High-Speed Scenario the energy consumption increases by 43 % compared to the reference scenario. The additional costs for providing such large energy quantities are decisive for the profitability of a high-speed operation. The high-speed line offers a journey time advantage of around five hours (minus 44 % compared to the reference scenario: 7.6 hours vs. 13.5 hours). Consequently, the freight forwarder must be willing to pay a higher price for this transport service. The total journey time is the sum of pre-carriage and onward carriage plus transport time on the high-speed line. The transport time for the first and last mile is independent of the journey on the main leg and their required time cannot be shortened easily. Assuming that the distribution for first and last mile takes about one hour each, the time advantage would decrease to 38 % (9.6 hours vs. 15.5 hours). On the other hand, the NGT CARGO represents a completely new offer. This new transport service could open up new potential by not only shifting transport goods from other modes but also gaining new goods for rail freight.

The solution described above offers a compromise in two ways. On the one hand, the investments for the entire route would be significantly reduced. Moreover, the loss of journey time on existing high-speed lines would stay within reasonable limits. On the

	High-Speed Scenario with NGT CARGO	Reference Scenario with NGT CARGO	Reference Scenario with conventional freight train, 160 km/h
Travel time Nîmes – Linz (h)	7.6	13.5	16.7
Average speed (km/h)	152.4	105.2	85.0
Energy consumption per day (MWh)	646	412	245
Energy consumption per train-km (kWh/km)	83.1	45.3	26.9

Tab. 3: Key figures for the core section Nîmes – Linz in the examined scenarios

kommt es im Referenz-Szenario zu deutlichen Einbrüchen in der Transportgeschwindigkeit, weil die Streckenhöchstgeschwindigkeit 120 km/h nicht überschreitet und meist deutlich unter diesem Wert liegt. Deshalb wird hier vorgeschlagen, die Trassenplanung aus dem SFS-Szenario teilweise umzusetzen und eine eigene NGT CARGO-SFS von der österreichisch-ungarischen Grenze bis nach Bukarest zu erstellen.

Im SFS-Szenario wird über die gesamte Strecke 43 % mehr Energie verbraucht als im Referenz-Szenario. Die Mehrkosten für die Bereitstellung dieser großen Energiemengen sind entscheidend für die Rentabilität eines Betriebs mit einer so hohen Geschwindigkeit. Für einen Zeitvorteil von etwa fünf Stunden auf der Gesamtstrecke, also eine Verringerung der Fahrzeit um 44 % (7,6 Stunden ggü. 13,5 Stunden), müssten Spediteure bereit sein, einen entsprechend höheren Preis zu bezahlen. Hinzu kommt die zwangsläufige Verlängerung der reinen Fahrzeit um den Vor- und Nachlauf vom Versender bis zum Empfänger, der unabhängig von der Fahrzeit auf dem Hauptlauf ist. Wird mit einer konstanten Feinverteilungsdauer von zwei Stunden für beide Szenarien gerechnet, würde der Zeitvorteil nur noch 9,6 Stunden ggü. 15,5 Stunden, also 38 % betragen. Andererseits stellt der NGT CARGO ein komplett neues Angebot dar, welches neues Potenzial erschließen und so eine gute Auslastung auch über die reine Verlagerung von Warenströmen hinaus generieren kann.

Die oben vorgeschlagene Lösung bietet hier gleich auf zwei Arten einen Kompromiss. Zum einen würden die Investitionen, die für die Gesamtstrecke aufzuwenden wären, substantiell verringert und die Fahrzeitverluste würden sich auf bestehenden SFS im Rahmen halten. Zum anderen sinkt bei einer Maximalgeschwindigkeit von 320 km/h auf den bestehenden Strecken der Energiebedarf, was die Kosten senkt und damit die Attraktivität im Vergleich zum Referenzsystem verbessert. Es ist mit einer Fahrzeitverlängerung von etwa zwei Stunden auf der Gesamtstrecke bzw. eineinviertel Stunden zwischen Nîmes und Linz zu rechnen. Es wird also weiterhin eine Halbierung der Fahrzeiten des konventionellen Zuges erreicht, wodurch eine starke Änderung der Konkurrenzsituation zum Straßen-, aber auch zum Luftverkehr zu erwarten ist. Der Energieverbrauch sinkt gleichzeitig um 25 bzw. 37 % im Vergleich zur durchgängigen Fahrt mit 400 km/h. Durch die verkürzte Streckenlänge kann sogar ein im Vergleich zum Referenz-Szenario minimal verringerter Energieverbrauch erreicht werden, wobei der Verbrauch pro km durch die höhere Geschwindigkeit selbstverständlich steigt.

4 Fazit und Ausblick

Angesichts dieser Ergebnisse ist zu untersuchen, ob ein Betrieb eines Güterzuges mit 400 km/h Höchstgeschwindigkeit wirtschaftlich darstellbar ist. Die Fahrzeiteffekte oberhalb von 300 km/h sind im Güterverkehr noch mehr als im Personenverkehr vernachlässigbar, wobei insbesondere die langen Hub-Aufenthalte eine große Konstante in der Fahrzeit darstellen. Im DLR-Projekt TRANSITION wird hierzu aktuell geforscht mit dem Ziel, die Umschlagszeiten in Güterverkehrsterminals zu verringern. Der Energieverbrauch und damit die Kosten und der Verschleiß steigen bei sehr hohen Geschwindigkeiten dagegen überproportional an. Die Entwicklung eines Hochgeschwindigkeits-Güterzuges, der mit bis zu 300 km/h auf Bestandsstrecken mitschwimmen kann, in Kombination mit priorisierten Ausbauten sehr langsamer Strecken auf 200 bis 250 km/h, könnte bereits eine Revolution für die Attraktivität des Schienengüterverkehrs darstellen und dennoch wirtschaftlich umsetzbar bleiben. ■

other hand, the energy consumption decreases due to the limited maximum speed of 320 km/h. This reduces costs and thus improves the attractiveness compared to the Reference Scenario. This compromise would mean an expected journey time extension of two hours for the whole distance from Madrid to Bucharest. On the core section between Nîmes and Linz the time extension will be 1:15 h. Compared to a conventional freight train with 160 km/h, this means that journey times are still halved. This suggests that the competitive situation in freight transport between road and rail, but also air traffic, will change significantly. The energy consumption decreases by about 25 % and 37 %, respectively, compared to the High-Speed Scenario with 400 km/h. Because of the shortened route length the energy consumption is marginally lower than in the Reference Scenario even though the energy consumption per km is increasing due to higher speed.

4 Conclusion and outlook

In the light of these results it should be examined, if a freight train operation with 400 km/h is economically viable. The journey time effects above 300 km/h are even more negligible in freight transport than in passenger transport. Especially the long stops at the hub stations represent a constant factor in journey time. Therefore, the current DLR project "TRANSITION" aims to reduce the transshipment times in cargo terminals. The energy consumption and thus costs and wear rise over-proportionally at very high speeds. The development of a high-speed freight train that can travel at up to 300 km/h on existing lines could already represent a revolution of attractiveness of rail freight transport. Still, in combination with prioritized upgrading of very slow tracks up to 200 to 250 km/h, the concept could remain economically viable. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Winter, J.; Böhm, M.; Malzacher, G.; Krüger, D.: NGT CARGO – Schienengüterverkehr der Zukunft, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 2/2017, S. 82-85
- [2] Winter, J.; Krüger, D.; Böhm, M.; Mönsters, M.; Schumann, T.: NGT CARGO, Ein Betriebskonzept für den internationalen Güterverkehr, in: Deine Bahn, Heft 8/2017, S. 12-16
- [3] Knitschky, G.; Lobig, A.; Schumann, T.; Mönsters, M.: Marktanalyse und Betriebskonzept für den Next Generation Train CARGO, in: EI - DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 3/2018, S. 40-45
- [4] Schumann, T.; Mönsters, M.; Meirich, Ch.; Jäger, B.: NGT CARGO - Concept For A High-Speed Freight Train In Europe, in: WIT Press, COMPRAIL 2018, 02.07.-04.07.2018, Lissabon, Portugal

AUTOREN | AUTHORS

Michael Mönsters, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Research associate
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / German Aerospace Center
Institut für Verkehrssystemtechnik / Institute of Transportation Systems
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: michael.moensters@dlr.de

Dipl.-Ing. Leander Flamm

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Research associate
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / German Aerospace Center
Institut für Verkehrssystemtechnik / Institute of Transportation Systems
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig
E-Mail: leander.flamm@dlr.de